

## MULTIPHOTON INTERFERENCE ALIGNER

**Patent number:** JP2004014866  
**Publication date:** 2004-01-15  
**Inventor:** OSAWA HISAO; FUJII TORU; OKI YASUSHI  
**Applicant:** NIPPON KOGAKU KK  
**Classification:**  
 - international: **G02F1/39; G03F7/20; H01L21/027; G02F1/35; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/027; G02F1/39; G03F7/20**  
 - european:  
**Application number:** JP20020167539 20020607  
**Priority number(s):** JP20020167539 20020607

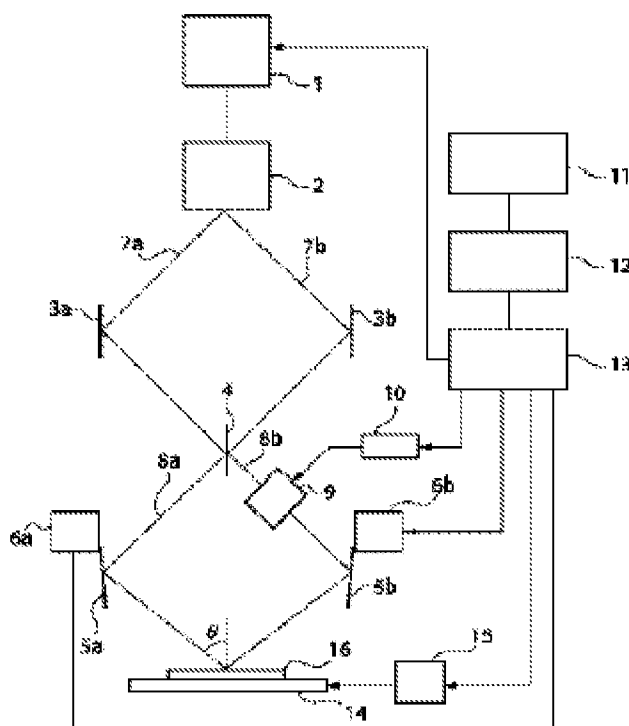
*Report a data error here*

### Abstract of JP2004014866

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a multiphoton interference aligner capable of creating various exposure patterns using interference of multiple photons without requiring a reticle.

**SOLUTION:** A pattern to form on a wafer is stored in a pattern memory 11 and an intensity/phase calculator 12 calculates the interference intensity at each incident angle  $[\theta]$ , the phase between two light beams, and the angular variation of interference reflectors 5a and 5b based on that information. Based on the output from the intensity/phase calculator 12, a synchronization controller 13 transmits the angular variation of the interference reflectors 5a and 5b to reflector controllers 6a and 6b in order to vary the angle of the interference reflectors 5a and 5b. At the same time, the interference intensity is transmitted to an exposure light source 1 in order to regulate the exposure and the phase variation is transmitted to a phase modulation controller 10 in order to vary the optical phase difference between two light beams by driving a phase modulation element 9. These operations are performed by varying the incident angle  $[\theta]$  for a required amount in a desired mode, and the wafer is exposed.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-14866

(P2004-14866A)

(43) 公開日 平成16年1月15日 (2004.1.15)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/027

G02F 1/39

G03F 7/20

F I

H01L 21/30

G02F 1/39

G03F 7/20

515D

521

テーマコード (参考)

2K002

5F046

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2002-167539 (P2002-167539)  
 (22) 出願日 平成14年6月7日 (2002.6.7)

(71) 出願人 000004112  
 株式会社ニコン  
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
 (74) 代理人 100094846  
 弁理士 細江 利昭  
 (72) 発明者 大澤 日佐雄  
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
 式会社ニコン内  
 (72) 発明者 藤井 透  
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
 式会社ニコン内  
 (72) 発明者 大木 裕史  
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
 式会社ニコン内  
 Fターム (参考) 2K002 AA04 AB12 BA03 HA21  
 最終頁に続く

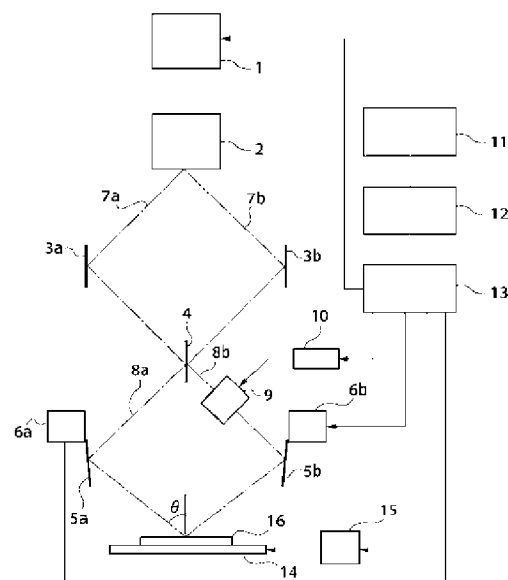
(54) 【発明の名称】 多光子干渉露光装置

## (57) 【要約】

【課題】様々な露光パターンを、レチクルを使用せず、多光子の干渉を使用して作り出すことが可能な多光子干渉露光装置を提供する。

【解決手段】パターン記憶装置11にはウエハ上に形成したいパターンが記憶されており、強度・位相計算装置12はその情報を基に、各入射角 $\theta$ に対して干渉強度、2光束間の位相、干渉用反射鏡5a、5bの角度変化量を計算する。同期制御装置13は強度・位相計算装置12の出力を基に、干渉用反射鏡5a、5bの角度変化量を反射鏡制御装置6a、6bに伝え、干渉用反射鏡5a、5bの角度を変化させる。同時に、干渉強度を露光光源1に伝えて露光量を調整し、位相変化量を位相変調制御装置10に伝え位相変調素子9を駆動して2光束間の光位相差を変化させる。これらの動作を所望のパターンにおいて必要なだけ入射角 $\theta$ を変化させながらウエハ上に露光を行う。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光源と、当該光源からの光子を異なる光路を通る $n$  ( $n \geq 2$ ) 個のコヒーレントな $n$ 光子状態に変換する多光子生成手段と、 $n/2$ 光子毎に分岐された多光子を異なる光路から半透過鏡上に投射し、 $n$ 光子にする第1の光学系と、当該半透過鏡を通過又は反射して、再び異なる光路を進む前記 $n$ 光子を露光面上で合成し、干渉縞を形成する第2の光学系を有する多光子干渉露光装置であって、前記第2の光学系において、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度が可変とされていることを特徴とする多光子干渉露光装置。

## 【請求項 2】

請求項1に記載の多光子干渉露光装置であって、前記第2の光学系は、当該第2の光学系に含まれる反射鏡の角度を変化させることで、前記露光面上に各光子が到達する際の、前記露光面となす角度を調整する機能を有することを特徴とする多光子干渉露光装置。

## 【請求項 3】

請求項1又は請求項2に記載の多光子干渉露光装置であって、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の強度に応じて、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎の露光量を調整する機能を有することを特徴とする多光子干渉露光装置。

## 【請求項 4】

請求項1から請求項3のうちいずれか1項に記載の多光子干渉露光装置であって、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の位相に応じて、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎の2つの光束の位相差を調整する機能を有することを特徴とする多光子干渉露光装置。

## 【請求項 5】

請求項1から請求項3のうちいずれか1項に記載の多光子干渉露光装置であって、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の位相に応じて、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎に、結像面に置かれた露光面の位置を変える機能を有することを特徴とする多光子干渉露光装置。

## 【請求項 6】

請求項1から請求項5のうちいずれか1項に記載の多光子干渉露光装置であって、前記光子対生成手段が、非線形光学現象により光子を異なる光路を通る光子対に変換する非線形光学結晶を有することを特徴とする多光子干渉露光装置。

## 【請求項 7】

請求項6に記載の多光子干渉露光装置であって、前記非線形光学現象がパラメトリックダウンコンバージョンであることを特徴とする多光子干渉露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は多光子干渉露光装置に関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来技術による露光装置の概略を、図2を用いて説明する。従来技術による露光装置は、少なくとも、露光のための光を発生する光源101、光源からの光をレチクルに照射する照明光学系102、レチクルとウエハの間の相対位置を調整するためのアライメント光学系103、レチクルを透過した光をウエハに投影する投影光学系110、レチクルステージ105、レチクル位置を制御するレチクルステージ制御機構104、ウエハステージ108、ウエハ位置を制御するウエハステージ制御機構107、全体を統括制御する制御機構109を備えている。

## 【0003】

レチクルステージ105にはレチクル105aが置かれ、ウエハステージ108上にはウ

10

20

30

40

50

工ハ１０８αが置かれ、レチクル１０５αとウ工ハ１０８αはそれぞれ投影光学系１１０の物体面、像面となるように投影光学系１１０との位置関係が調整されている。

#### 【０００４】

露光光源１０１からの光は照明光学系１０２を通りレチクル１０５αを照明する。レチクル１０５α、投影光学系１１０、及びウ工ハ１０８αが上記の関係にあるためレチクル１０５αを透過した光は投影光学系１１０でウ工ハ１０８α上に結像し、ウ工ハ１０８α上に感光剤が塗布されていれば、レチクルのパターンをウ工ハ１０８α上に転写することができる。

#### 【０００５】

通常、投影光学系で転写できる面積はウ工ハ全面に比べ小さいため、レチクルステージ１０５とウ工ハステージ１０８により、それぞれレチクルとウ工ハの水平位置（光軸と垂直な面内の位置）を制御することで、ウ工ハ全面にレチクルパターンの転写を行えるようにしてある。このとき、ウ工ハ全面における転写パターンはウ工ハ全面において異なるパターンでもよいし、同一レチクルパターンの繰り返しでもよい。

#### 【０００６】

ところで、通常の露光装置では、光の回折限界からの制約により形成できるパターンの周期に下限があることが知られている。すなわち、照明光の波長を $\lambda$ 、光学系の開口数を $NA$ とすると、形成できるパターンの周期の下限は光の回折限界から

$$P_{min} = \lambda / (2 NA)$$

となり、これよりも微細な加工を行うことは原理的に不可能であった。

#### 【０００７】

一方で、回路パターンの微細化に伴い露光装置に要求される露光線幅、周期は年々微細化してきているため、上記の限界の範囲内でこれに対応するために、光学系の開口数 $NA$ を大きくするとともに照明波長 $\lambda$ の短波長化が進められてきた。しかしながら、現在すでに光学系の開口数 $NA$ は大気中で使用する場合に上限となる１．０に極めて近づいている。さらに照明光に関しても、既に真空紫外光とも言える波長１５０nm程度の光が利用されつつあるため、露光光学系を構成するためにこれまで用いられてきた多くの光学材料が、透過率の点から利用不可能となり、光学設計の選択の幅が狭くなってきている。このため、要求される微細パターンを形成するために必要な性能を持った光学系の設計が非常に困難となってきている。

#### 【０００８】

この問題を解決するために、多光子干渉を利用した露光装置が考案された。詳細はP h N S. R e v. L e t t e r. 8. 5 P 2 7 8 8 - 2 7 8 6 ( 2 0 0 0 ) に記載されている。この原理に従って構成された多光子露光装置の原理を、図３を用いて説明する。

#### 【０００９】

図３において、露光光源１からのレーザー光を非線形光学結晶２に入射する。ここで、露光光源１としては非線形光学現象を起こしやすいコヒーレントな光を発生する光源、すなわちレーザー光源から構成されている。非線形光学結晶２は、パラメトリックダウンコンバージョンにより露光光源からの光の波長（ $\lambda_1$ ）の２倍の波長（ $2\lambda_1$ ）の光が発生するように調整されている。これは、パラメトリック発振におけるシグナル光とアイドラ光の波長が等しい特別な状態である。従ってこの過程で出てくる光子は必ず位相のそろった波長の等しい光子対をなす。

#### 【００１０】

さらに、非線形光学結晶２でのこの過程により発生する光の進行方向をこの光子対の一つ一つが別々となるように設定しておけば、図３の光路７α、７βを通るようにできる。光路７α、７βに進んだ光は、反射鏡８α、８βにより半透過鏡４の同一点に入射するようにされている。一般に光は自分自身としか干渉しないが、この場合は全く同じエネルギー、同じ位相を持った光同士であるため、２つの光路を進行してきた光の間で干渉が起こり、半透過鏡４の反射率、透過率がそれぞれ５０％の時には、いわゆるエンタングルドステートにある光子が光路８α、８βを進むことになる。すなわち、光子対が光路８αを通る

10

20

30

40

50

状態と光路 8 b を通る状態の重ね合わせ状態となる。

【0011】

これら光子対は干渉用反射鏡 5 a、5 b で反射され、ウエハステージ 108 上に搭載されたウエハ 108 a 上の同一点に入射する。その結果、ウエハ 108 a 上面で 2 光子状態での干渉が起こり、干渉縞ができる。光子対が対のまま光路 8 a、8 b のどちらを通過してきたか判別がつかない状態であるために 2 光子状態での干渉を起こすのである。これは、通常の干渉計において 1 つの光子が 2 つの光路のどちらを通過してきたか判別ができないために干渉が起こると同様である。

【0012】

ここで形成される干渉縞の周期  $P_2$  は、 $2\lambda_1 = \lambda_2$  とおくと、これら光子の入射角  $\theta$  に対して、

$$P_2 = \lambda_2 / (4 \sin \theta) = \lambda_1 / (2 \sin \theta)$$

となる。これは、波長  $\lambda_2$  の光を発生する光源を用いた場合の、通常の光干渉で得られる干渉縞の周期  $P_1$

$$P_1 = \lambda_2 / (2 \sin \theta)$$

と比べて周期が  $1/2$  になっており、従来の露光装置では決して形成することのできなかった微細加工が可能となっている。

【0013】

以上、2 光子干渉について説明したが、もし上記 2 光子状態を  $n$  光子状態とすることができれば、干渉縞の周期はさらに狭くすることができて、その周期  $P_n$  は、

$$P_n = \lambda / (2n \sin \theta)$$

となる。 $n$  光子状態はパラメトリック発振器を多段につなぐことで生成可能である。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図 8 に示す従来の多光子露光装置では、露光面に到達する光子の入射角  $\theta$  が固定であるため、干渉により形成される干渉縞の周期が単一となり、様々な露光パターンに対応させることが非常に困難であるという問題があった。本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、様々な露光パターンを、レチクルを使用せず、多光子の干渉を使用した多光子干渉露光装置を提供することを課題とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するための第 1 の手段は、光源と、当該光源からの光子を異なる光路を通る  $n$  ( $n \geq 2$ ) 個のコヒーレントな  $n$  光子状態に変換する多光子生成手段と、 $n/2$  光子毎に分岐された多光子を異なる光路から半透過鏡上に投射し、 $n$  光子にする第 1 の光学系と、当該半透過鏡を通過又は反射して、再び異なる光路を進む前記  $n$  光子を露光面上で合成し、干渉縞を形成する第 2 の光学系を有する多光子干渉露光装置であって、前記第 2 の光学系において、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度が可変とされていることを特徴とする多光子干渉露光装置（請求項 1）である。

【0016】

本手段の作用を説明するに先立ち、その前提となる一般的な部分コヒーレント結像条件の下での結像について述べる。

【0017】

一般的に、周波数領域での位置ベクトルを  $v$ 、 $v'$  とし、2 つの光の瞳中での強度分布のフーリエ変換をそれぞれ

【0018】

【数 1】

$$\tilde{O}(v), \tilde{O}(v')$$

【0019】

10

20

30

40

50

とすると、この2つの光線の干渉による結像面上の強度分布は、結像面での位置ベクトルを $r$ として、

【0020】

【数2】

$$I(r) = \iint_{v, v'} \tilde{O}^*(v) \tilde{O}(v') R(v, v') e^{i(v-v') \cdot r} dv dv' \quad \cdots (1)$$

【0021】

となる。ここで、

【0022】

【数3】

$$\tilde{O}^*(v)$$

【0023】

は

【0024】

【数4】

$$\tilde{O}(v)$$

【0025】

の複素共役数であり、 $(v-v') \cdot r$ は $(v-v')$ と $r$ の内積、 $R(v, v')$ は、投影光学系のTCC (Transmission of Cross Coefficient) である。また、

(1)式の積分範囲は、瞳座標内である。

【0026】

(1)式には様々な空間周波数の成分が入っているので、

$$C = v - v'$$

とすれば、(1)式は

【0027】

【数5】

$$I(r) = \iint_{C, v} \tilde{O}^*(v) \tilde{O}(v-C) R(v, v-C) e^{iC \cdot r} dv dC \quad \cdots (2)$$

【0028】

と書くことができるため、像面での光強度は、空間周波数 $C$ ごとに様々な強度と位相を持つ干渉縞の積分としてとらえることができる。空間周波数 $C$ に関しては露光領域の長さを $L$ とすると $2\pi/L$ が最低周波数となり、この周波数で量子化した周波数で級数展開ができるので、(2)式は、以下の形に展開できる。ただし、 $C_n = 2n\pi/L$ である。

【0029】

【数6】

$$I(r) = \sum_{C_n} \int_v \tilde{O}^*(v) \tilde{O}(v-C) R(v, v-C) e^{iC \cdot r} dv \quad \cdots (3)$$

【0030】

これは、形式的に

【0031】

【数7】

10

20

30

40

$$I(r) = \sum_{C_n} |I(C_n)| e^{i\phi(C_n)} e^{iC_n \cdot r} \quad \cdots(4)$$

【0032】

と書くことができる。このことは、

振幅が  $|I(C_n)|$  であり、位相が  $\phi(C_n)$  である干渉縞を周波数  $C_n$  ごとに用意できれば、光干渉を利用して所望のパターンをウエハの上に投影できることを意味している。ここで、周波数  $C_n$  毎に用意する干渉縞の振幅と位相は、

【0033】

10

【数8】

$$|I(C_n)| e^{i\phi(C_n)} = \int_v \tilde{O}^*(v) \tilde{O}(v - C_n) R(v, v - C_n) e^{iC_n \cdot r} dv \quad \cdots(5)$$

【0034】

のように、光源の強度分布のフーリエ変換

【0035】

【数9】

$$\tilde{O}(v)$$

20

【0036】

と、想定している投影光学系のTCCである  $R(v, C_n)$  から計算できる各係数を、絶対値と位相因子に分けることで容易に求めることができる。この位相因子は像面での位相を表しているが、光干渉の際には、2光束の位相差がこれと等しいため、2光束の一方の位相を他方に対して  $\phi(C_n)$  ずらすことで達成することができる。

【0037】

2光束をウエハ上で干渉させる場合これら2光束がなす角を  $2\theta$  とすると、

$$2 \sin \theta = |C| = |v - v'| \quad (6)$$

である。

30

【0038】

よって、1次元パターンに限れば、一方の光の位相を可変とした2光束干渉によって所望のパターンをウエハ上に形成することができる。

【0039】

実際には、 $I(r)$  が決定されると、それを(5)式に対応するようにフーリエ級数に展開することにより、 $C_n$  毎に振幅である  $|I(C_n)|$  と位相差  $\phi(C_n)$  を求める。 $|I(C_n)|$  が、 $C_n$  が与えられたときの投影光学系の強度(光源の強度×露光時間)に対応する。 $C_n$  を与える2光束のなす角は、(6)式により決定する。

【0040】

また、 $R(v, v')$  としては、理想的な投影光学系のものを持ってくればよく、それは中心位置が座標  $v$ 、 $C-v$  にある半径  $NA$  の円と、中心位置が座標  $(0, 0)$  半径  $\sigma \times NA$  の円全てが重なった領域の面積であるため容易に計算できる。ここで、 $\sigma$  は照明光学系のコヒーレンス度である。

40

【0041】

このようにして計算を行った後は、2光束のなす角度  $\theta$  を変えながら、それに対応する  $C_n$  に応じて、投影光学系の強度に対応する  $|I(C_n)|$  と2光束間の位相差  $\phi(C_n)$  を変化させて露光を行えば、目的とするパターンを結像面に結像させることができる。

【0042】

2次元の像形成の場合は、感光材料の感光が光強度の積分強度に比例するため、2光束光干渉による像形成を、結像面を回転させながら行うことも可能である。

50

## 【0043】

以上は通常の1光子吸収過程を述べたものであるが、2光子吸収の場合も式(2)は同様であり入射角と光強度、位相の関係を求めることができる。ただし、2光子吸収を利用した場合には1光子吸収過程と同じ入射角であってもそれによって生成される干渉縞の周期は1/2になるため、(6)式の代わりに

$$4 \sin \theta = |C| = |\nu - \nu'| \quad (7)$$

を使用することになる。

## 【0044】

なお、本手法で非常に大きなパターン(低い空間周波数を持ったパターン)を形成するには2光束間の角度を非常に小さくしなければならず、装置が大型化するおそれがあるが、そのような大きなパターンの形成には従来の低解像度露光装置を用いることで可能であるため大きな問題とはならない。すなわち、パターン中の空間周波数に応じて本手法と従来の露光装置を使い分けられよう。

10

## 【0045】

本手段においては、このような原理に基づき、露光面に到達する光子の入射角が可変とされているので、このような原理に基づき、入射角を変化させながら、各入射角ごとの露光量(光源の強さ、露光時間の少なくとも一方)を変化させることで、目的とする様々なピッチの露光パターンを露光面に形成することができる。すなわち、本手段においては、多光子干渉により、所望のパターンをウエハ等の基板上に形成しているため、レチクル等を必要とせず、かつ、レチクル等に形成されたパターンを露光転写する場合に比して、微細なパターンを基板上に形成することができる。

20

## 【0046】

また、本手段においては、光子対生成により生成された光子対を干渉させて干渉縞を作り出しているため、光子対と同一の波長の通常の光線を2つに分けて干渉させる場合に比して、干渉縞のピッチを細かくすることができる。

## 【0047】

前記課題を解決するための第2の手段は、前記第1の手段であって、前記第2の光学系は、当該第2の光学系に含まれる反射鏡の角度を変化させることで、前記露光面上に各光子が到達する際の、前記露光面となす角度を調整する機能を有することを特徴とするもの(請求項2)である。

30

## 【0048】

本手段においては、前記第2の光学系に角度が可変な反射鏡が含まれており、それにより、第1の手段で述べた入射角を可変することができる。よって、反射鏡の角度を変化させることにより、所望の $C_n$ を形成することができる。

## 【0049】

前記課題を解決するための第3の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であって、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の強度に応じて、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎の露光量を調整する機能を有することを特徴とするもの(請求項3)である。

## 【0050】

本発明においては、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎の露光量を調整する機能を有するので、前記第1の手段で説明した $C_n$ 毎に $|I(C_n)|$ を変化させることができ、所望のピッチのパターンを所望の強さで露光面上に形成することができる。

40

## 【0051】

前記課題を解決するための第4の手段は、前記第1の手段から第3の手段のいずれかであって、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の位相に応じて、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎の2つの光束の位相差を調整する機能を有することを特徴とするもの(請求項4)である。

## 【0052】

50



本手段においては、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎の2つの光束の位相差を調整する機能を有するので、前記第1の手段で説明した $C_n$ 毎に位相差 $\phi$  ( $C_n$ )を調整することができ、所望のパターンの位相を変化させることができる。特に、要求される露光パターンのフーリエ変換後の強度に応じて、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎の露光量を調整しながら、同時に位相差を変化させて、 $C_n$ 毎に露光を行って重ね合わせることで、様々なパターンを被露光面上に形成することができる。

#### 【0053】

前記課題を解決するための第5の手段は、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の位相に応じて、前記露光面上に各光子が到達する際の露光面となす角度毎に、結像面に置かれた露光面の位置を変える機能を有することを特徴とするもの（請求項5）である。

10

#### 【0054】

前記第4の手段においては、結像面に形成される干渉縞の位相の調整を、2つの光束の位相差を変えることによって行っていた。本手段はこの代わりに、結像面に置かれた露光面の位置を、 $C_n$ 毎に代えることによって、干渉縞と被照射対の結像面との位相関係を変化させ、前記第4の手段と等価な関係を作り出している。

#### 【0055】

前記課題を解決するための第6の手段は、前記第1の手段から第5の手段のいずれかであって、前記光子対生成手段が、非線形光学現象により光子を異なる光路を通る光子対に変換する非線形光学結晶を有することを特徴とするもの（請求項6）である。

20

#### 【0056】

本手段においては、比較的簡単な手段により光子対を生成することができる。

#### 【0057】

前記課題を解決するための第7の手段は、前記第6の手段であって、前記非線形現象がパラメトリックダウンコンバージョンであることを特徴とするもの（請求項7）である。

#### 【0058】

本手段においては、比較的簡単な手段により光子対を生成することができる。

#### 【0059】

#### 【発明の実施の形態】

30

以下、本発明の実施の形態の例を、図を用いて説明する。図1は、本発明の実施の形態の1例である多光子干渉照明装置を利用した露光装置の光学系の概要を示す図である。露光装置は、露光光源1、非線形光学素子2、反射鏡3a、3b、半透過鏡4、光干渉用反射鏡5a、5b、及びその制御装置6a、6b、位相変調素子9、及びそのドライバ10、パターン記憶装置11、強度・位相計算装置12、同期制御装置13、ウエハステージ14、及びその制御装置15からなる。ウエハステージ14上には、感光剤を塗布したウエハ16が載せられている。

#### 【0060】

露光光源1からのレーザー光を非線形光学結晶2に入射する。ここで、露光光源1としては非線形光学現象を起こしやすいコヒーレントな光を発生する光源、すなわちレーザー光源から構成されているのが望ましい。非線形光学結晶2は、パラメトリックダウンコンバージョンにより露光光源1からの波長の2倍の波長の光が発生するように調整しておく。これは、パラメトリック発振におけるシグナル光とアイドラ光の波長が等しい特別な状態である。従ってこの過程で出てくる光子は必ず位相のそろった波長の等しい光子対をなす。

40

#### 【0061】

さらに、非線形光学結晶2でのこの過程により発生する光の進行方向をこの光子対の一つ一つが別々となるように設定しておくことで、図1の光路7a、7bを通るようにできる。光路7a、7bに進んだ光は反射鏡3a、3bにより半透過鏡4の同一点に入射するように調整しておく。一般に光は自分自身としか干渉しないが、この場合は全く同じエネルギー

50

ギー、同じ波束（波の形）を持った光同士であるため、2つの光路を進行してきた光の間で干渉が起こり、半透過鏡4の反射率、透過率がそれぞれ50%のときには、いわゆるエンタングルド状態にある光子対が光路8a、8bを進むことになる。即ち、光子対が光路8aを通る状態と光路8bを通る状態との重ね合わせ状態となる。

#### 【0062】

これら光子は干渉用反射鏡5a、5bで反射され、ウエハステージ14上に搭載されたウエハ16上の同一点に入射する。その結果、ウエハ16上面で2光子状態での干渉が起こり干渉縞ができる。光路8b側には位相変調素子9が設けられており、光路8b側を通る光のみ位相を変化させられ、その位相差に応じてウエハ18上で干渉を起こした際にその干渉縞の位相が変化する。その結果、露光面上での干渉縞の位置が変化する。

10

#### 【0063】

パターン記憶装置11にはウエハ上に形成したいパターンが記憶されており、強度・位相計算装置12はその情報を基に式(4)、式(5)を使って、各入射角 $\theta$ に対して干渉強度、2光束間の位相、干渉用反射鏡5a、5bの角度変化量を計算する。

#### 【0064】

同期制御装置13は強度・位相計算装置12の出力を基に、干渉用反射鏡5a、5bの角度変化量を反射鏡制御装置6a、6bに伝え、干渉用反射鏡5a、5bの角度を変化させる。同時に、干渉強度を露光光源1に伝えて露光量を調整し、位相変化量を位相変調制御装置10に伝え位相変調素子9を駆動して2光束間の光位相差を変化させる。これらの動作を所望のパターンにおいて必要なだけ入射角 $\theta$ を変化させながらウエハ上に露光を行う

20

#### 【0065】

ところで、本実施例によるパターン形成手法でありやる空間周波数をもったパターンを露光しようとする1度に露光できる面積が限られる。干渉すべき2つのビームが完全に分離しているところに半透過鏡4を置かなければならないこと、最低空間周波数ではその波長がパターンサイズと等しいことを考慮して計算すると、一度に露光できる幅 $w$ はおよそ

$$w = (L\lambda/2)^{1/2}$$

となる。ここで、 $\lambda$ は使用する光の波長、 $L$ は干渉用反射鏡5a、5bの高さである。例えば、 $\lambda = 150\text{ nm}$ 、 $L = 1000\text{ mm}$ とすると、 $w = 0.27\text{ mm}$ になってしまう。

30

#### 【0066】

従って、露光パターンのうち低周波成分は従来の露光装置に任せ、本技術による露光では高周波成分を担当するのが望ましいが、すべての露光を本露光装置で行う場合には、ウエハステージ制御装置15によりウエハステージ14を上記幅 $w$ ごとにずらしながら、ステップアンドリピート方式により露光を行っていけばよい。

#### 【0067】

図1では、位相変調素子9は光路8bにのみ入っているが、光路8aのみ、又は光路8a、8bの両方に入れることもできる。両方の光路に入れる場合は、両者の位相変調量の差を上記の位相変調量とすれば目的は達成できる。

#### 【0068】

光源として時間コヒーレンスがやや悪い光源を用いた場合には両方の光路に同じ大きさの位相変調素子を入れることで光路長をほぼ等しくすることができ、干渉性を改善することができる。

40

#### 【0069】

また、上記の実施の形態では、各入射角 $\theta$ ごとに变化する干渉強度の調節を、露光光源1に制御を加えることを行っているが、露光光源1の強度を一定に保ったまま各入射角における干渉用反射鏡5a、5bの滞留時間で制御を行ってもよい。あるいは、上記の露光を連続的に入射角を変化させながら行う場合には、干渉用反射鏡5a、5bの角度変化の速度に制御を加えて行ってもよい。

#### 【0070】

50

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、様々な露光パターンを、レチクルを使用せず、多光子の干渉を利用した多光子干渉露光装置を提供することができる。

## 【0071】

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の一例の光学系の概要を示す図である。

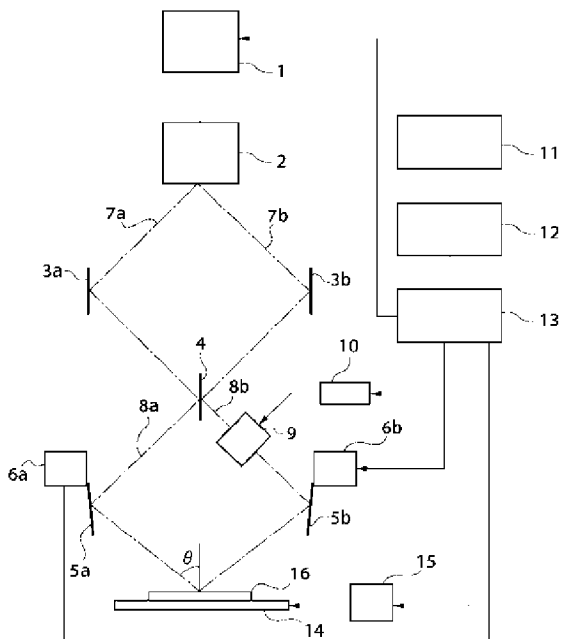
【図2】従来の露光装置の概要を示す図である。

【図3】従来の多光子干渉露光装置の概要を示す図である。

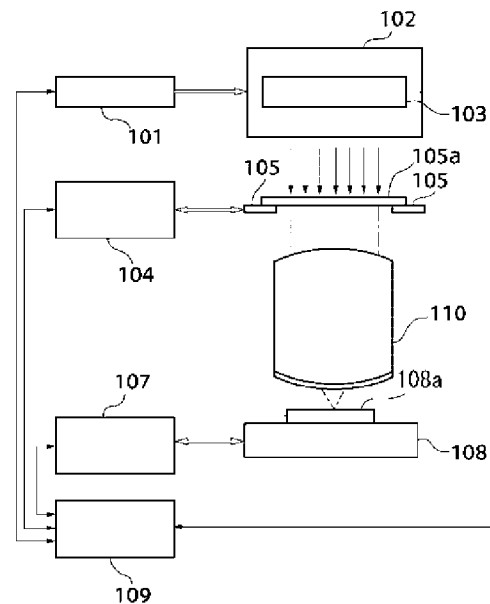
## 【符号の説明】

1：露光光源、2：非線形光学素子、3a、3b：反射鏡、4：半透過鏡、5a、5b：10  
光干渉用反射鏡、6a、6b：反射鏡制御装置、7a、7b：光路、8a、8b：光路、  
9：位相変調素子、10：位相変調素子ドライバ、11：パターン記憶装置、12：強度  
・位相計算装置、13：同期制御装置、14：ウエハステージ、15：ウエハステージ制  
御装置、16：ウエハ

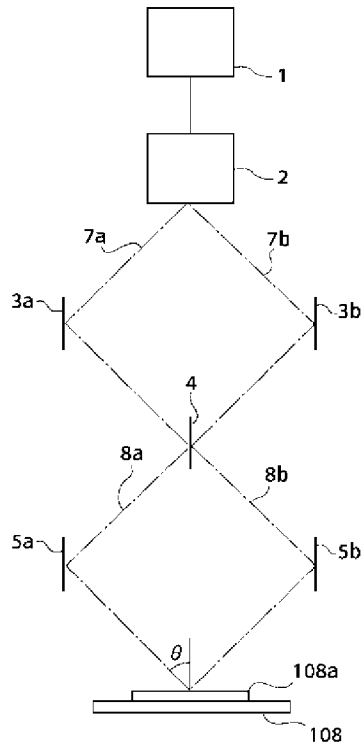
【図1】



【図2】



【図 3】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F046 BA08 CA03 CB02 CB25 CC01 CC04 DA01 DA02